

13 Elektromagnetische straling vwo

13.1 Licht als golf

Elektromagnetische golven

- 1**** Een natriumlamp zendt licht uit met een golflengte van 590 nm.
- a** Bereken de frequentie van dit licht.
 - b** Welke kleur heeft dit licht?

- 2**** In een lichtmicroscop wordt monochromatisch licht gebruikt met een frequentie van $f = 6,0 \cdot 10^{14}$ Hz. De microscoop vergroot 1000 keer.
- a** Bereken de golflengte van dit licht.

Met deze microscoop maak je een foto. Op de foto zijn details van een één millimeter scherp te zien maar kleinere details zijn wazig.

- b** Leg uit waarom details kleiner dan één millimeter wazig zijn.



- 3***** In een fotocamera wordt de hoeveelheid licht geregeld door de sluitertijd en het diafragma. De sluitertijd geeft aan hoelang de lens openstaat en het diafragma geeft aan hoe groot de opening is waardoor het licht in de camera komt. Bij een klein diafragma (bijvoorbeeld F/22) gaat het licht in de lens door een klein gaatje. Foto's die genomen zijn met een groter diafragma (bijvoorbeeld F/5,6) zijn scherper.

- a** Geef hiervoor een verklaring.

Als je een klein diafragma gebruikt zie je bij een vergroting rare kleureffecten.

- b** Geef hiervoor een verklaring.

In een digitale fotocamera zit een beeldchip van 25 bij 36 mm. De camera heeft 36 megapixels, d.w.z. dat er $3,6 \cdot 10^7$ gebiedjes (pixels) zijn waar het licht wordt geregistreerd. Ga ervan uit de pixels vierkant zijn en dat ze elkaar raken.

- c** Bereken de afmeting (lengte en breedte) van een pixel.



Een tralie

- 4**** De afstand tussen twee lijnen uitgedrukt in meter heet de tralieconstante. Een tralie heeft 800 lijnen per mm.

a Bereken de tralieconstante van deze tralie.

Een tralie heeft een tralieconstante van $4,00 \cdot 10^{-6}$ m.

b Bereken het aantal lijnen per mm.



- 5***** Een groene lichtbundel met $\lambda = 500$ nm gaat door een tralie. Op een afstand van de tralie staat een projectiescherm. Op dit scherm ontstaat een interferentiepatroon. De groene strepen geven de plaatsen aan waar je de 0^e t/m 3^e orde lichtbundels op het scherm ziet.

a Neem de figuur over en geef aan welke lijnen bij de 2^e orde lichtbundels horen.



De 2^e orde lichtbundel ($n = 2$) wordt afgebogen met een hoek van 30,0 graden.

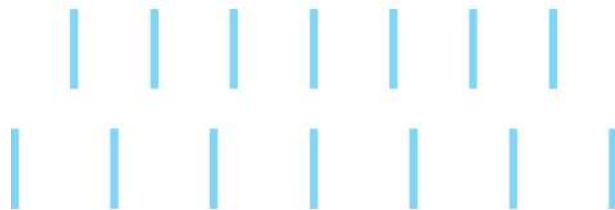
b Bereken de tralieconstante.

c Bereken het aantal lijnen per mm van de gebruikte tralie.

Op het projectiescherm is de afstand tussen de 0^e orde en 3^e orde lichtbundels 50 cm.

d Bereken de afstand tussen de tralie en het projectiescherm.

- 6***** Een groene en een rode lichtbundel worden vlak boven elkaar op een tralie gericht. Achter de tralie vallen de lichtbundels op een projectiescherm. Op dit scherm ontstaan interferentiepatronen. De strepen geven de plaatsen aan waar je de 0^e t/m 3^e orde lichtbundels ziet.



a Leg uit welke lijnen horen bij de groene en welke bij de rode lichtbundel.

De groene lichtbundel heeft een golflengte van 520 nm. $\sin \alpha$ van de onderste serie lijnen is 1,25 keer zo groot als $\sin \alpha$ van de bovenste serie lijnen. Zie figuur.

b Bereken de golflengte van de rode lichtbundel.

- 7***** Een groene laserstraal van 532 nm valt loodrecht op een tralie met 600 lijnen per mm.

a Toon aan dat de afstand tussen de spleten van de tralie $1,67 \cdot 10^{-6}$ m is.

b Bereken hoek α van de 1^e orde lichtbundel.

c Bereken hoek α van de 2^e orde lichtbundel.

d Bereken de hoek tussen de 1^e orde en de 2^e orde lichtbundels.

Een projectiescherm staat op een afstand van 2,00 m van de tralie. Op het scherm verschijnt een rij met groene stippen. De middelste stip is het felst en is afkomstig van de 0^e orde lichtbundel.

- e** Bereken de afstand tussen de 0^e orde lichtbundel en de 1^e orde lichtbundel.
- f** Bereken de afstand tussen de 1^e orde lichtbundel en de 2^e orde lichtbundel.
- g** Leg uit of de afstand tussen de bundels met een hogere orde afneemt, toeneemt of gelijk blijft.

8*** Een natuurkundeleraar demonstreert het interfereren van licht door een tralie in de klas. Hij schijnt met een rode laser door de tralie in de richting van het schoolbord. Op het bord verschijnt een rij lichtstippen. De tralie heeft 300 lijnen per mm. Het licht uit de laser heeft een golflengte van 670 nm. De afstand tussen de 0^e orde en 1^e orde stip op het bord is 20,0 cm.

- a** Bereken op welke afstand de leraar het tralie voor het bord houdt.

Op het bord zijn de 0^e t/m 5^e orde lichtbundels zichtbaar.

- b** Bereken de afstand tussen de 2^e en de 3^e orde stip.

De leraar houdt de tralie op 2,00 m afstand van het schoolbord.

- c** Bereken de afstand tussen de 0^e orde en 1^e orde stip.

9**** Een tralie met 400 lijnen per millimeter wordt beschenen met wit licht. Achter de tralie staat een scherm. Op dit scherm zie je het spectrum met rode, groene en blauwe gebieden.

- a** Leg uit hoe deze gebieden ontstaan.

Bij licht van 500 nm is de afstand tussen de 0^e en de 1^e orde bundel op het scherm 2,50 cm.

- b** Bereken de afstand van de lens tot het scherm.

Op het scherm is te zien dat de 1^e orde rode lijn met $\lambda = 700$ nm samenvalt met een 2^e orde violette lijn.

- c** Bereken de golflengte van deze 2^e orde violette lijn.

Op het scherm is te zien dat de 2^e orde rode lijn met $\lambda = 700$ nm samenvalt met een 3^e orde groenblauwe lijn.

- d** Bereken de golflengte van deze 3^e orde groenblauwe lijn.

10**** Om het emissiespectrum van een witte LED-lamp te meten wordt een tralie gebruikt. Eerst wordt een smalle evenwijdige lichtbundel gemaakt. Deze bundel valt op het tralie. Achter het tralie staat een scherm op 40,0 cm afstand.

De 0^e orde bundel is wit licht maar bij alle andere orden is het licht gesplitst in kleuren.

- a** Leg dit uit.

De gebruikte tralie heeft 500 lijnen per mm. Van een bepaalde kleur licht is de afstand tussen de 0^e orde bundel en de 1^e orde bundel op het scherm 10,0 cm.

b Bereken de golflengte van deze kleur licht.

Het spectrum bevat informatie over de optische processen die in de LED-lamp plaatsvinden. Op het scherm zijn details van het spectrum waarneembaar als ze tenminste 1,0 mm van elkaar zijn gescheiden. De resolutie van de meetopstelling is het kleinste verschil in golflengte dat kan worden waargenomen.

c Bereken de resolutie van de meetopstelling.

Het elektromagnetisch spectrum

11** De afstandsbediening van een televisie zendt straling uit met een golflengte van 940 nm.

a Bereken de frequentie van deze straling.

b Waarom kun je deze straling niet zien?

12** Sinds 1934 zendt BBC Radio 4 radiogolven uit met een frequentie van 198 kHz.

a Leg uit of met radiogolven geluidsgolven of EM-straling wordt bedoeld.

b Bereken de golflengte van deze radiogolven.

13** De band waarin FM-radio wordt uitgezonden wordt de VHF (very-high frequency) band genoemd. Deze FM-band heeft een frequentiegebied van 87 tot 108 MHz. Een populaire radiozender is 3FM. In de provincie Utrecht is deze zender te ontvangen op 96,8 MHz.

a Bereken de golflengte van deze radiogolven.

14*** Na het succesvolle Apollo project, waarbij astronauten op de maan zijn geland, wordt er nagedacht om mensen naar Mars te brengen. Aarde en Mars draaien beide om de zon, waarbij de kleinst mogelijke afstand tussen de planeten $7,84 \cdot 10^{10}$ m is. Stel dat astronauten op het oppervlak van Mars een melding maken dat zich een probleem voordoet.

a Na hoeveel minuten kunnen de astronauten op zijn vroegst antwoord verwachten?

15*** Een magnetronoven werkt op een frequentie van 2,50 GHz.

a Bereken de golflengte van de microgolven in een magnetron.



In een magnetron staat het gerecht op een ronddraaiende schijf. Als zo'n draaischijf niet wordt gebruikt wordt het gerecht op sommige plaatsen meer verwarmd dan op andere plaatsen.

b Geef hiervoor een verklaring.

Om het ongelijkmatig verwarmen door een magnetron te onderzoeken kun je de draai-schijf verwijderen en een boterham met een plakje kaas in de magnetron leggen. Na een paar seconden zie je dat op sommige plaatsen de kaas gaat smelten en op andere plaatsen niet.

c Bereken de afstand tussen plaatsen waar het kaas gaat smelten.

16*** Het 4G netwerk in Europa maakt veel gebruik van 900 MHz, 1800 MHz en 2100 MHz elektromagnetische straling.

a Bereken de golflengte van de 900 MHz en van de 2100 MHz band.

De 900 MHz band heeft als voordeel dat het zendbereik groot is en dat het goed is te ontvangen in gebouwen. Een nadeel is dat deze band gevoelig is voor weersomstandigheden. De 2100 MHz band heeft een kleiner zendbereik en is minder goed te ontvangen in gebouwen, maar is ongevoelig voor weersomstandigheden. In Europa wordt vanwege de voordelen van zowel de lage als de hoge frequenties beide banden gebruikt.

b Leg uit waarom in gebouwen de 900 MHz band beter is te ontvangen dan de 2100 MHz band.



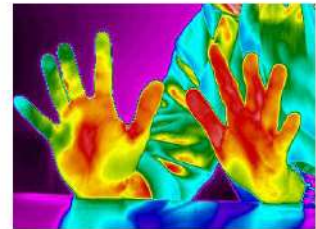
13.2 Licht als deeltje: fotonen

De wet van Wien

- 1* Hiernaast zie je een infraroodfoto van de handen van een persoon opgenomen met een thermische camera.
a Leg uit wat je aan deze foto kunt zien.

Er is kleurverschil tussen de twee handen.

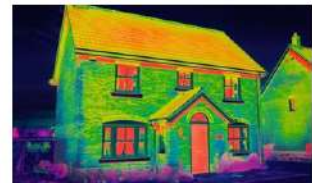
- b Geef hiervoor een verklaring.



- 2* Hiernaast zie je een infraroodfoto van een huis opgenomen met een thermische camera.
a Leg uit wat je aan deze foto kunt zien.

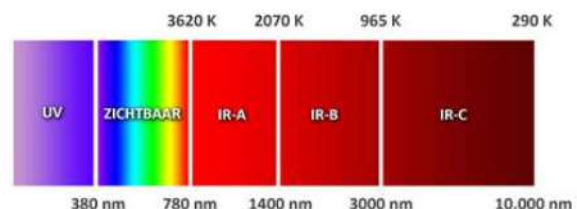
Op de foto heeft een dak een andere kleur dan de muren.

- b Leg uit wat je hieruit kunt concluderen.



- 3** De lichaamstemperatuur van een zoogdier is $37,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
a Bereken de golflengte λ_{max} van de EM-straling die wordt uitgestraald.
b Bereken de frequentie van deze straling.

- 4** In de figuur zie je een spectrum. Er wordt onderscheid gemaakt tussen ultraviolet (UV), zichtbaar licht en infrarood licht, (IR-A, IR-B en IR-C).



Bij de overgangen van zichtbaar licht naar IR-A, IR-B en IR-C staat onderaan de figuur de golflengte en bovenaan de temperatuur in kelvin.

- a Controleer of de informatie in de figuur klopt.

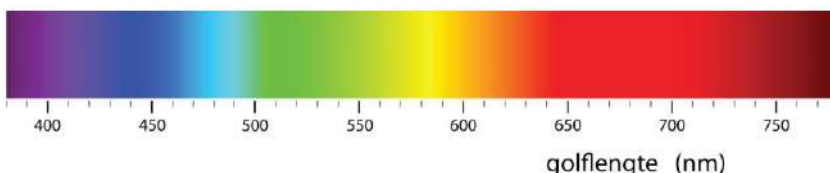
Bij de overgang van UV naar zichtbaar is alleen de golflengte aangegeven.

- b Bereken de temperatuur die hiermee correspondeert.

Johan beweert dat een voorwerp met een temperatuur 2070 K uitsluitend licht met een golflengte van 1400 nm uitstraalt.

- c Ben je het met Johan eens? Leg uit waarom wel / niet.

- 5*** In onderstaande figuren zie je een elektrische straalkachel. Daarnaast zie je het kleurenspectrum.



In een elektrische straalkachel wordt meestal het metaal nichroom gebruikt. Dit is een legering van 80 % nikkel en 20% chroom. Nichroom smelt bij 1400 °C. De kleur van het uitgestraalde licht van de straalkachel komt niet overeen met λ_{max} van de wet van Wien.

a Toon dit aan.

Als de straalkachel brandt is de temperatuur van het nichroom 1000 °C.

b Bereken de golflengte λ_{max} van het licht dat het nichroom uitzendt.

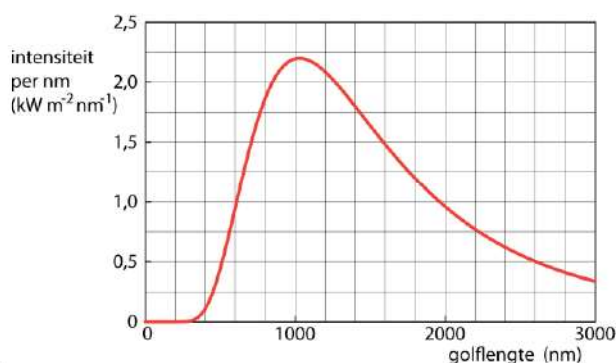
Om te voorkomen dat je je handen niet brandt mag de buitenkant van de kachel niet warmer zijn dan 70 °C.

c Bereken de golflengte λ_{max} van de EM-straling die de buitenkant bij 70 °C uitzendt.

6** In een gloeilamp zit een dunne draad gemaakt van wolfram waar elektrische stroom doorheen gaat. Vanwege de weerstand van de draad krijgt het een hoge temperatuur, waardoor het licht gaat uitstralen.

In de figuur zie je het continue spectrum dat door de gloeidraad wordt uitgestraald.

a Bepaal de temperatuur van de draad in °C.



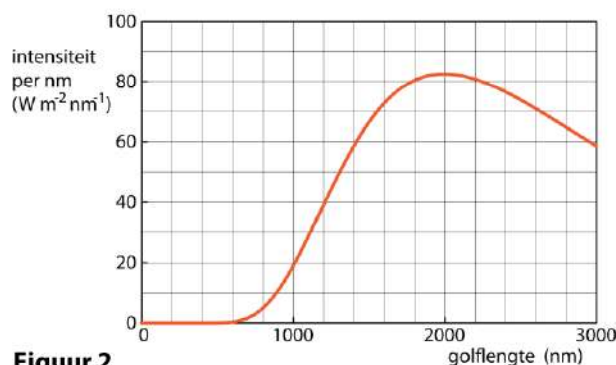
Een gloeilamp heeft een laag rendement.

b Leg uit hoe dit volgt uit de grafiek.

7** Lava is gesmolten steen dat wordt uitgestoten door een vulkaan. Om de temperatuur van lava te bepalen wordt het stralingsspectrum opgenomen. Zie figuren 1 en 2.



Figuur 1



Figuur 2

a Bepaal de temperatuur van het lava in graden celsius.

De golflengte van $2,0\ \mu\text{m}$ ligt buiten het zichtbare gebied.

b Waarom zie je dat het lava oranje licht uitstraalt?

8**

Als iets heel erg warm is kan het "witheet" worden.

Dit gebeurt bijvoorbeeld tijdens het lassen.

a Heeft wit licht een bepaalde golflengte?

b Wanneer ervaar je licht als wit?

c Bij welke temperatuur ga je het licht als wit ervaren?

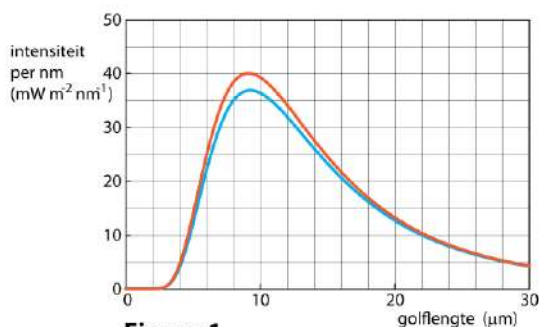


De overgang van zichtbaar licht naar UV ligt bij ongeveer $380\ \text{nm}$.

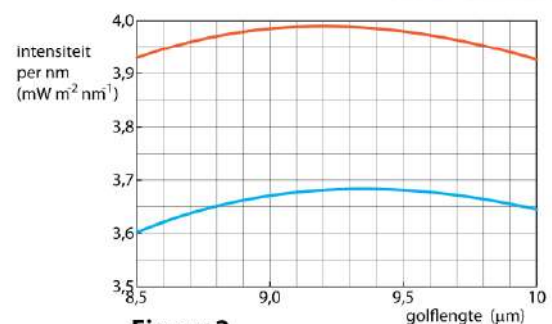
d Leg uit of er dan alleen licht met een golflengte van $380\ \text{nm}$ wordt uitgestraald.

9***

Om je lichaamstemperatuur op te nemen kun je met een koortsthermometer de temperatuur van je trommelvlies meten. In figuur 1 zie je het continue spectrum dat door het trommelvlies wordt uitgestraald. In figuur 2 is het gebied waar de grafieken een maximum hebben uitvergroot.



Figuur 1



Figuur 2

a Hoe heet EM-straling in dit golflengtegebied?

In de figuren 1 en 2 zie je twee grafieken. Bij één grafiek ben je gezond en bij de andere heb je koorts.

b Leg uit bij welke grafiek je koorts hebt.

c Bepaal de temperatuur van je trommelvlies als je koorts hebt in $^{\circ}\text{C}$.

Om je temperatuur te meten zijn er twee methodes. Bij methode A meet je het spectrum en bepaal je de golflengte waarbij de uitstraling maximaal is. Bij methode B meet je de uitgestraalde intensiteit bij $9,0\ \mu\text{m}$ en bereken je hieruit de temperatuur. Bij methode C meet je de uitgestraalde intensiteit bij $4,0\ \mu\text{m}$ en bij $9,0\ \mu\text{m}$ en bereken hoeveel groter de uitstraling bij $9,0\ \mu\text{m}$ is ten opzichte van die bij $4,0\ \mu\text{m}$.

d Leg voor iedere methode A, B of C uit waarom die wel of niet geschikt is om nauwkeurig de temperatuur te meten.

De wet van Stefan-Boltzmann

10*** In de figuur zie je het spectrum dat door de zon wordt uitgestraald. Hieruit kun je afleiden dat de temperatuur van de oppervlakte van de zon $5,78 \cdot 10^3$ K is.

a Toon dit aan.

Voor het uitgestraalde vermogen van EM-straling bij een zwart lichaam geldt:

$$P = \sigma \cdot A_{\text{bron}} \cdot T^4$$

De eenheid van σ is $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

b Toon dit aan.

c Bereken hoeveel vermogen één vierkante meter van de zon uitstraalt.

De zon straalt een vermogen uit van $3,828 \cdot 10^{26}$ W.

d Bereken de oppervlakte van de zon.

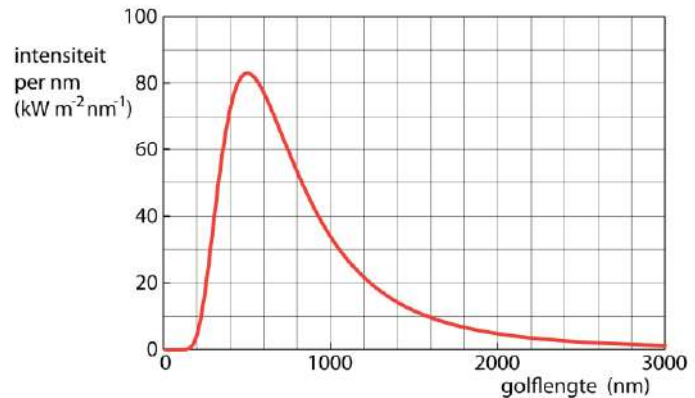
Voor de oppervlakte van een bol geldt: $A = 4\pi \cdot r^2$

e Bereken de straal van de zon.

Het centrum van de zon heeft een temperatuur van $1,55 \cdot 10^7$ K. De EM-straling die door het centrum wordt uitgestraald wordt in de zon geabsorbeerd en bereikt de oppervlakte niet.

f Bereken de golflengte van de EM-straling die door het centrum van de zon wordt uitgestraald.

g Hoe heet EM-straling in dit golflengtegebied?

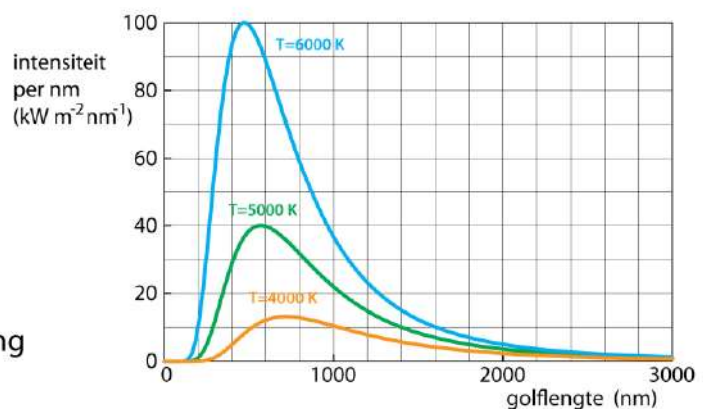


11*** In de figuur zie je het spectrum dat een zwart lichaam bij verschillende temperaturen uitstraalt.

a Wat is de natuurkundige betekenis van de oppervlakte onder de grafiek?

Volgens de wet van Stefan-Boltzmann is het uitgestraalde vermogen recht evenredig met de temperatuur in kelvin tot de vierde macht.

b Toon aan dat dit in overeenstemming is met de grafieken in de figuur.



12*** Het uitgestraalde vermogen per m^2 per nm van een zwart lichaam met een temperatuur van 5000 K is gegeven in de figuur.

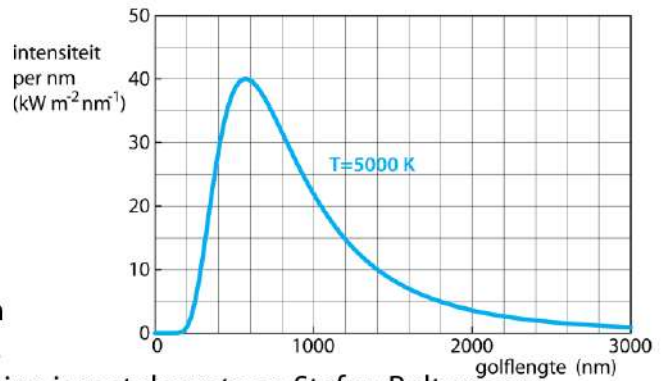
a Toon aan dat de grafiek in overeenstemming is met de wet van Wien.

Op de verticale as is de intensiteit uitgezet in kilowatt per vierkante meter per nanometer.

c Toon aan dat de grafiek in overeenstemming is met de wet van Stefan-Boltzmann.

d Hoeveel keer groter is het oppervlak onder de grafiek bij een temperatuur van 10000 K?

e Hoeveel keer kleiner is de oppervlakte onder de grafiek bij een temperatuur van 300 K?

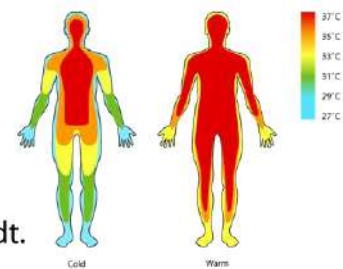


13*** Vanwege de lichaamstemperatuur straalt een zoogdier EM-straling uit. Bij een mens heeft de huid een temperatuur van gemiddeld 35 graden.

a Bereken het gemiddelde stralingsvermogen per vierkante meter bij een mens.

b Schat hoeveel stralingsenergie een mens per seconde uitzendt.

c Hoeveel kilojoule is dit per dag?



Een mens eet ongeveer 2000 kilocalorieën per dag. Eén calorie is 4,184 J.

d Bereken hoeveel energie je per dag uitstraal in kilocalorieën.

e Waarom heb je per dag veel minder energie nodig dan je uitstraalt?

Als de temperatuur van de omgeving 27°C is verlies je per seconde 100 J energie doordat je meer warmtestraling uitzendt dan opneemt.

f Toon dit aan.

g Hoeveel energie verlies je hierdoor per dag uitgedrukt in kilocalorieën?

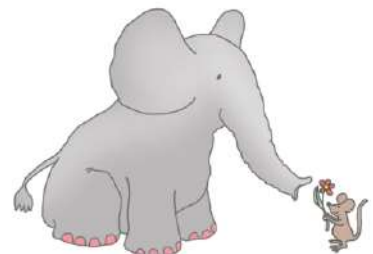
Een volwassen vrouw eet 2000 kcal per dag en een volwassen man 2500 kcal per dag.

h Leg uit waar de energie uit voeding vooral voor wordt gebruikt.

14*** Bij een zoogdier wordt voedsel voornamelijk gebruikt om het lichaam op temperatuur te houden en om de spieren van energie te voorzien. Een muis weegt gemiddeld 35 gram en eet per dag 3,5 gram voedsel. Een olifant weegt gemiddeld 5000 kg. Een muis is ongeveer 5 cm lang en een olifant ongeveer 5 m.

De massa's van een olifant en een muis verhouden zich als $5000 : 0,035$.

a Hoe verhouden zich de (huid-) oppervlakken van een olifant en een muis?



Een muis eet iedere dag $1/10$ van zijn lichaamsgewicht.

b Verwacht je dat een olifant per dag ook $1/10$ van zijn lichaamsgewicht = 500 kg voedsel moet eten?

Stel dat vrijwel al het voedsel nodig is voor het op temperatuur houden van het lichaam.

c Hoeveel kilogram moet een olifant dan iedere dag eten?

In werkelijkheid eet een olifant per dag ongeveer 180 kg voedsel.

d Is dit meer of minder dan jouw schatting?

e Bedenk een reden waarom jouw schatting niet goed klopt.

De (omgekeerde) kwadratenwet

- 15***** Voor het bewerken van glas wordt het op een temperatuur van $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ gebracht. Bij deze temperatuur is het glas stroperig en kan het in een vorm worden gebracht of worden geblazen. Op de foto houdt een glasblazer $6,0\text{ kg}$ glas in zijn hand. Het glas heeft een dichtheid van $2,5 \cdot 10^3\text{ kg/m}^3$. Ga er van uit dat het glas massief en bolvormig is.
- a** Bereken het uitgestraalde vermogen van het glas.



Het gezicht van de glasblazer is op een afstand van 90 cm .

b Bereken de stralingsintensiteit bij het gezicht.

Op $3,5\text{ m}$ afstand staan toeschouwers te kijken.

c Bereken de stralingsintensiteit bij de toeschouwers.

- 16***** Een kaars is gemaakt van stearine waarvan de stookwaarde 40 MJ/kg is. Het vermogen van een brandende kaars is 80 W .
- a** Hoeveel gram stearine verbrandt een kaars per minuut?

De vlam heeft een temperatuur van ongeveer $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b Is deze temperatuur in overeenstemming met de gele kleur van het kaarslicht?



Om te kunnen lezen heb je minimaal een intensiteit van $2,5\text{ W/m}^2$ nodig.

c Op welke afstand van de kaars kun je nog net lezen?

In het donker heeft de pupil van een mensenoog een diameter van $8,0\text{ mm}$.

d Hoeveel lichtenergie komt er per seconde in een oog bij een intensiteit van $2,5\text{ W/m}^2$?

- 17***** Om ijzer te vervormen wordt het verwarmd tot 70% van het smeltpunt in kelvin.
- a** Bereken de golflengte die het meest wordt uitgestraald.

Het voorwerp heeft een oppervlakte van 40 cm^2 .

- b** Bereken de intensiteit op een afstand van 80 cm.



Als het ijzer de juiste vorm heeft laat je het afkoelen. In het begin is de afkoelsnelheid groter dan aan het einde.

- c** Leg uit waarom dit het geval is.

De afkoelsnelheid is recht evenredig met het uitgestraalde vermogen.

- d** Hoeveel keer groter is de afkoelsnelheid bij 1200°C ten opzichte van de afkoelsnelheid bij 600°C ?

- 18***** Een emailleeroven heeft een temperatuur van 950°C . Aan de voorkant zit een kijkgaatje met een diameter van 3,0 cm.

- a** Hoeveel stralingsenergie ontsnapt er per seconde door het kijkgaatje?

De oven heeft een vermogen van 1200 W. De buitenmaten van de oven zijn 260 mm x 250 mm x 300 mm.

- b** Bereken de temperatuur van de buitenwanden van de oven in $^\circ\text{C}$.



In werkelijkheid hebben de buitenwanden een hogere temperatuur.

- c** Leg uit waarom dit het geval is.

- 19****** In een gloeilamp bevindt zich een filament gemaakt van wolfram. Voor een 60 W lamp heeft het filament een lengte van 58 cm en een diameter van 0,046 mm. In de lamp is het filament gewikkeld in een dubbele spiraal. Zie figuur.

- a** Bereken de temperatuur van het filament als de lamp brandt.
- b** Bereken de golflengte die het meest wordt uitgestraald.



Je maakt een gloeilamp van 100 watt waarbij de temperatuur van het filament 2500°C is.

- c** Bereken de oppervlakte van de gloeidraad.

Het uitgestraalde vermogen is gelijk aan het elektrische vermogen: $P = U \cdot I$. In Europa is de netspanning 230 volt.

- d** Bereken de stroomsterkte door de gloeilamp.

Voor de weerstand geldt: $U = I \cdot R$.

- e** Bereken de weerstand van de gloeilamp.

Voor een draad geldt: $\rho = \frac{R \cdot A}{\ell} \rightarrow R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$

Voor de oppervlakte van de cilindrische draad geldt: $A_{\text{bron}} = 2\pi r \cdot \ell$

Voor de oppervlakte van de doorsnede geldt: $A_{\text{draad}} = \pi \cdot r^2$

Hieruit volgt: $R = \rho \cdot \frac{A_{\text{bron}}}{2\pi^2 \cdot r^3}$

f Toon dit aan.

Bij 2500 °C heeft wolfram een soortelijke weerstand van $\rho = 847 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m}$.

g Bereken met behulp van de antwoorden op vragen c en d de diameter van de wolframdraad.

h Bereken de lengte van de wolframdraad.

Fotonen

20* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$5,00 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \dots\dots\dots \text{ eV}$

$5,00 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \dots\dots\dots \text{ Hz}$

$5,00 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \dots\dots\dots \text{ nm}$

21* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$1,00 \text{ eV} = \dots\dots\dots \text{ J}$

$1,00 \text{ eV} = \dots\dots\dots \text{ Hz}$

$1,00 \text{ eV} = \dots\dots\dots \text{ nm}$

22* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$5,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = \dots\dots\dots \text{ J}$

$5,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = \dots\dots\dots \text{ eV}$

$5,00 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = \dots\dots\dots \text{ nm}$

23* Maak de volgende berekeningen voor fotonen:

$500 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{ J}$

$500 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{ eV}$

$500 \text{ nm} = \dots\dots\dots \text{ Hz}$

24*** Als de fotonenergie wordt uitgedrukt in joule geldt: $E_f(\text{J}) = \frac{h \cdot c}{\lambda}$

a Toon dit aan.

In deze formule is h de constante van Planck.

b Bepaal de eenheid van de constante van Planck.

Als de fotonenergie wordt uitgedrukt in elektronvolt geldt: $E_f(\text{eV}) = \frac{h \cdot c}{e \cdot \lambda}$

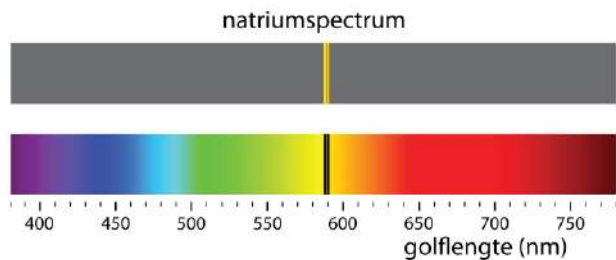
c Toon dit aan.

Als de golflengte in nm wordt gegeven geldt: $E_f(\text{eV}) = \frac{1240}{\lambda(\text{nm})}$

d Toon dit aan.

13.3 Absorptie en emissie van licht

- 1**** In een kleurloze gasvlam strooi je keukenzout (NaCl). Door de hoge temperatuur van de vlam ontleedt het NaCl en ontstaat er een damp met natriumatomen. In de figuur zie je het absorptiespectrum en het emissiespectrum van natriumatomen.



- a** Leg uit of het bovenste spectrum het absorptiespectrum of het emissiespectrum is.
b Leg uit wat je waarneemt als je keukenzout in een gasvlam strooit.

Om dit verschijnsel verder te onderzoeken meet je het absorptiespectrum van de vlam met natriumatomen.

- c** Leg uit hoe je een absorptiespectrum kunt meten.

Je kunt ook het emissiespectrum meten.

- d** Leg uit hoe je een emissiespectrum kunt meten.

- 2**** Een kopersulfaat $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ oplossing heeft een diepblauwe kleur. Als je door een kopersulfaatoplossing kijkt ziet alles er blauw uit.

- a** Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.

De sterkte van de verkleuring hangt af van twee factoren.

- b** Leg uit welke twee factoren dat zijn.

Je kijkt door een kopersulfaatoplossing naar een rode roos in een blauwe vaas.

- c** Beschrijf wat je ziet.

- 3**** Het zonnenspectrum bevat golflengten tussen ongeveer 200 en 3000 nm. Af en toe ontbreekt er een golflengte. Dit komt omdat de zon een dampkring heeft (de corona). Tijdens een totale zonsverduistering is de corona goed te zien. Zie figuur.

- a** Leg uit hoe de corona ervoor zorgt dat er golflengten ontbreken in het spectrum van de zon.

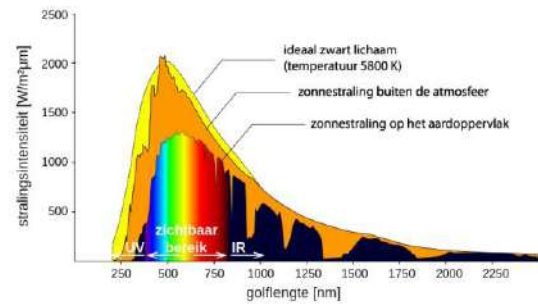


Bij een totale zonsverduistering staat de maan tussen de zon en de aarde. Je ziet dan alleen het licht dat door de corona wordt uitgezonden.

- b** Welke golflengten verwacht je in het emissiespectrum van de corona?

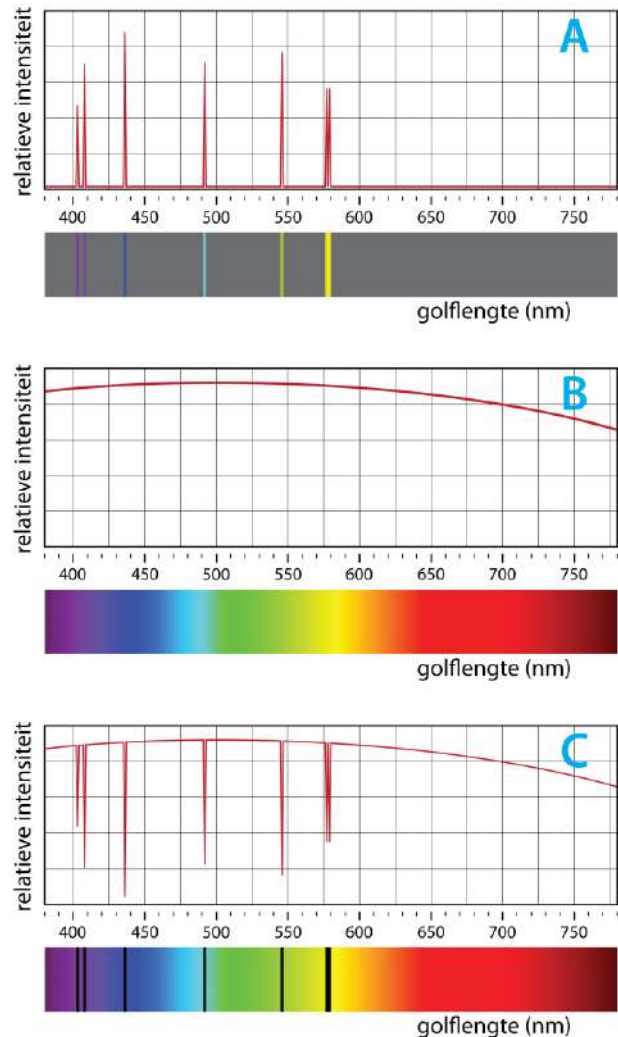
In de figuur zie je het spectrum van zonlicht gemeten vlak buiten de dampkring van de aarde (oranje). Het gekleurde spectrum daaronder is het zonlicht je waarneemt op het oppervlak van de aarde.

- c Verklaar verschil is tussen het spectrum buiten de dampkring en het spectrum op het oppervlak van de aarde.

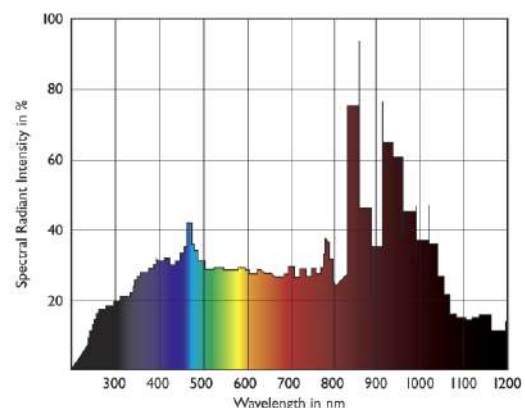


4*** Met behulp van een witte lichtbron, een gas en een spectrometer is drie keer een spectrum opgenomen. Zie figuur.

- a Zoek in Binas op om welke stof het gaat.
b Leg uit voor ieder spectrum A, B en C uit of het een continu-spectrum, een absorptiespectrum of een emissiespectrum is.



5** Een hoge-druk xenonlamp bevat xenon (een edelgas) met een hoge gasdruk. Als het gas elektrische wordt ontstoken ontstaat er een xenon plasma. Dit plasma geeft fel wit licht. Vanwege de witte kleur en het grote vermogen worden xenonlampen gebruikt bioscopen. In figuur 1 zie het spectrum van een hoge-druk xenonlamp.



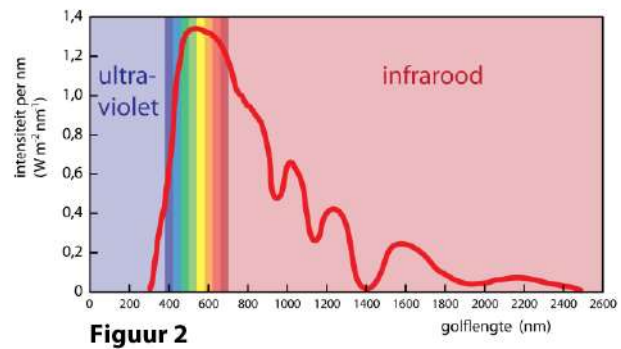
Figuur 1

a Leg uit hoe je aan het spectrum kunt zien dat een Xe-lamp wit licht uitzendt.

Behalve wit licht zendt een Xe-lamp ook veel infrarood (IR) straling uit.

b Hoe kun je aan het spectrum zien dat een Xe-lamp IR-straling uitzendt?

Het licht van een Xe-lamp is wat blauwer dan zonlicht en wordt daarom als koel ervaren. De meeste mensen vinden licht uit een gewone gloeilamp aangenamer (warmer). In figuur 2 zie je het zonne-spectrum dat het aardoppervlak bereikt.



c Waaraan kun je zien dat licht uit een Xe-lamp blauwer is dan zonlicht?

Als licht uit een Xe-lamp op je huid komt wordt je bruin. Bij te veel licht verbrandt je huid en kun je huidkanker krijgen.

d Leg uit waarom het licht uit een Xe-lamp gevaarlijker is dan zonlicht.

6*** In een kleurloze gasvlam strooi je een beetje strontium-sulfaat (SrSO_4). Door de hoge temperatuur van de vlam ontleedt het SrSO_4 en ontstaat er licht met een golflengte van 668 nm.

a Welke kleur heeft dit licht?

b Bereken de energie van de uitgezonden fotonen uitgedrukt in joule.

c Bereken de energie van de uitgezonden fotonen uitgedrukt in elektronvolt.

Om licht waar te nemen heeft het netvlies tenminste $1,7 \cdot 10^{-18} \text{ W}$ nodig.

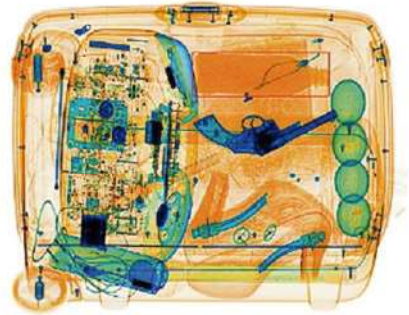
d Bereken hoeveel fotonen er per seconde op het netvlies moeten vallen om het licht afkomstig van strontiumatomen te kunnen zien.

13.4 Röntgenstraling

- 1*** Op een vliegveld wordt de bagage met röntgenstraling gecontroleerd. Hiernaast zie je het resultaat van een controle.
- a** Leg uit waarom de bagage met röntgenstraling wordt bekeken.

Behalve het pistool zitten er ook schoenen in de koffer.

- b** Wat valt je op aan deze schoenen?



- 2**** Hiernaast zie je een röntgenfoto uit 1896 gemaakt door Wilhelm Röntgen. Op de foto zie je de linkerhand van een medewerker. Het handweefsel is veel minder goed zichtbaar dan de botten.
- a** Leg uit waarom dit het geval is.

Om de ringvinger zitten twee metalen ringen.

- b** Leg uit waaraan je kunt zien dat de metalen ringen een grote dichtheid hebben.

We willen graag weten van welk metaal de ringen zijn gemaakt.

- c** Leg uit of je dit met een röntgenfoto kunt bepalen.



- 3**** Bram en Charlotte willen hun liefde vereeuwigen met een röntgenfoto.
- a** Leg uit waarom dit geen goed idee is ?
- b** Bereken de energie van een röntgenfoton met een frequentie van $1,0 \cdot 10^{18}$ Hz.

Het verbreken van een chemische binding kost gemiddeld 4,20 eV energie.

- c** Bereken hoeveel chemische bindingen één röntgenfoton kan verbreken.



- 4**** Röntgenstraling is gevaarlijk vanwege de ioniserende werking.
- a** Leg uit wat ioniserende werking is en waarom röntgenstraling gevaarlijk is.

De stralingsbelasting wordt uitgedrukt in sievert. Dit is de hoeveelheid geabsorbeerde stralingsenergie per kilogram. Een stralingsbelasting van bijvoorbeeld 25 mSv betekent niet altijd hetzelfde risico.

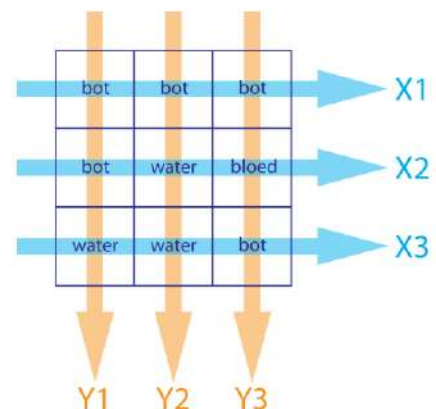
- b** Geef twee redenen waarom het gezondheidsrisico bij een stralingsbelasting van 25 mSv kan verschillen.

5*** Voor het maken van een röntgenfoto wordt röntgenstraling met een frequentie van $1,85 \cdot 10^{19}$ Hz gebruikt. Röntgenstraling wordt opgewekt door elektronen te versnellen en tegen een koperen plaat te schieten. Bij de botsing wordt een elektron uit de K-schil van een Cu atoom verwijderd. Voor het versnellen van de elektronen wordt een spanning aangelegd tussen de kathode en de anode van de röntgenbuis. Bij de kathode vertrekken de elektronen met een verwaarloosbare beginsnelheid.

- Leg uit wat er gebeurt als een Cu-atoom röntgenstraling uitzendt.
- Bereken de kinetische energie die een elektron minstens moet hebben om een röntgenfoton met een frequentie van $1,85 \cdot 10^{19}$ Hz te laten ontstaan.
- Bereken de minimale snelheid van de elektronen bij het botsen.
- Bereken de minimale spanning die nodig is om deze snelheid te bereiken.
- Leg uit wat er gebeurt als de elektronen met een grotere snelheid tegen de koperen plaat botsen.

6**** Bij een CT-scan worden röntgenfoto's onder verschillende hoeken gemaakt. De intensiteit van de röntgenstraling die de detector bereikt is afhankelijk van het tussenliggende weefsel. In de figuur zie je schematisch een stukje menselijk weefsel dat water, bloed en botweefsel bevat. De getekende cellen (blokjes) hebben een afmeting van 2 bij 2 millimeter.

Er worden twee röntgenfoto's gemaakt, één waarbij de straling horizontaal van links naar rechts door het weefsel gaat en één waarbij de straling verticaal van boven naar beneden door het weefsel gaat. De pijlen geven de richting van de röntgenstraling aan. Zie figuur 1. De detectoren X1, X2, X3 en Y1, Y2, Y3 meten hoeveel procent van de straling wordt doorgelaten.



- Een cel water absorbeert 2% van de röntgenstraling.
- Een cel bot absorbeert 10% van de röntgenstraling.

David beweert dat detector X1 zal aangeven dat 70% van de straling wordt doorgelaten.

- Leg uit waarom David geen gelijk heeft.
- Toon aan dat detector X1 meet dat er 72,9% wordt doorgelaten.
- Bereken hoeveel procent van de straling detector Y1 bereikt.
- Bij welke detector X2 of X3 verwacht je het grootste percentage doorgelaten straling?

Detector X3 meet water–water–bot en detector Y2 meet bot–water–water.

- Verwacht je dat X3 en Y2 verschillende of dezelfde waarden zullen geven. Licht je antwoord toe.
- Bereken de waarden die X3 en Y2 meten.

Detector X2 meet 85% doorgelaten straling.

- Bereken hoeveel procent een cel bloed absorbeert.
- Bereken hoeveel blokjes water er nodig zijn om 15% van de straling te absorberen.

13.5 Magnetische resonantie: MRI

- 1*** Veel gebruikte technieken voor medische diagnoses zijn: Echoscopie, Röntgenfoto, CT-scan, MRI scan
- a** Noem een voordeel en een nadeel van een röntgenfoto ten opzichte van echoscopie.
 - b** Noem een voordeel en een nadeel van een CT-scan ten opzichte van een röntgenfoto.
 - c** Noem een voordeel en een nadeel van een MRI-scan ten opzichte van een CT-scan.

- 2**** Bij een MRI-scan wordt de EM-straling gemeten die door waterstofkernen in het radiofrequente gebied wordt uitgezonden.
- a** Waarom zenden waterstofkernen bij een MRI-scan EM-straling uit?
 - b** Bestaat de uitgezonden EM-straling uit één of uit meerdere frequenties?

Door bloed en door weefsel wordt meer EM-straling uitgezonden dan door botten.

- c** Leg uit waarom dit het geval is.

- 3***** Bij MRI wordt EM-straling met een frequentie in het radiofrequente gebied gebruikt. Bij een magneetveld van 1,0 Tesla wordt een MRI signaal verkregen bij een frequentie van 42,5781 MHz. Er is een recht evenredig verband tussen de sterkte van het magnetische veld en de frequentie. In een MRI-scanner wordt een veld van 2,3 Tesla gebruikt.
- a** Bereken de frequentie waarbij het MRI signaal wordt verkregen.
 - b** Bereken de golflengte van de EM straling die bij een veldsterkte van 2,3 Tesla wordt gebruikt.

Per volume-eenheid bevat een tumor bevat relatief veel waterstof. Met een MRI scan wordt de tumor zichtbaar gemaakt.

- c** Leg uit of de waterstofconcentratie invloed heeft op de golflengte van de EM-straling?
- d** Leg uit of de waterstofconcentratie invloed heeft op de amplitude van de EM-straling?

- 4**** Om met MRI bloedvaten duidelijk in beeld te krijgen wordt er soms contrastvloeistof in de bloedstroom geïnjecteerd. Contrastmiddelen voor MRI zijn vaak verbindingen met het element gadolinium, omdat dit element gunstige magnetische eigenschappen heeft. Het contrastmiddel beïnvloedt hoe lang georiënteerde waterstofkernen gemiddeld in de anti-parallelle (hoge energie) toestand verblijven.

- a** Mag bij MRI de contrastvloeistof EM-straling uitzenden?

De T1 tijd is de tijd waarin 63% van de protonen van de anti-parallelle (hoge energie) naar de parallelle (lage energie) toestand zijn vervallen. Omdat weefsels verschillende T1 tijden

hebben, kunnen ze van elkaar worden onderscheiden. Door contrastvloeistof in de bloedstroom te injecteren neemt de T1 tijd van het bloed af.

b Leg uit hoe je de T1 tijd kunt meten.

c Leg uit hoe het verlagen van de T1 tijd het contrast tussen bloed in de bloedvaten en het omliggende weefsel beïnvloedt.

5** Bij functionele MRI (f-MRI) worden veranderingen in het MRI-sigitaal gemeten door snel na elkaar een MRI-scan te maken. De f-MRI techniek wordt veel gebruikt om processen in de hersenen te bestuderen. Maak je met een f-MRI iedere twee seconden een hersenscan, dan kun je de doorbloeding van de hersenen in kaart brengen tijdens het uitvoeren van een opdracht.

Bij f-MRI kan maar een klein deel van het lichaam worden bestudeerd met een lagere resolutie dan bij gewone MRI.

a Leg uit waarom dit het geval is.

b Bij f-MRI wordt een 4D-dataset verkregen. Leg uit waarom er bij f-MRI over vier dimensies wordt gesproken.

6*** Aan de universiteit van Leiden wordt met behulp van f-MRI onderzoek gedaan naar het puberbrein. Lees onderstaande tekst.

Sociale wederkerigheid

Wat verder opvalt aan de ontwikkeling tijdens de adolescentie, is dat sociale en morele beslissingen dikwijls nog niet van hetzelfde niveau zijn als het cognitieve functioneren. Westenberg: "Vanaf hun twaalfde kunnen veel adolescenten al logisch redeneren op een niveau dat niet veel onderdoet voor dat van volwassenen. Met hun denkvermogen is dan ook niets mis. Het schort vaak echter nog aan inzicht in sociaal gedrag en sociale interacties. In het Brain and Development Lab doen we bijvoorbeeld onderzoek naar sociale wederkerigheid, waaruit blijkt dat adolescenten pas op latere leeftijd inzien dat ze er zelf baat bij hebben om vertrouwen aan anderen te schenken." Bron: website universiteit Leiden

In de figuur zie je het resultaat van f-MRI onderzoek waarbij aan de linkerkant de proefpersonen negatieve reactie krijgen op een uitgevoerde taak en aan de rechterkant positieve reactie. In de rood oplichtende gebieden in de hersenen is de doorbloeding groter dan in de rest van de hersenen.

a Leg uit hoe het f-MRI resultaat onderbouwing geeft aan bovenstaande tekst.

